



In Figs. 1 to 3, the reference numeral 10 denotes a flat substrate made of glass or a semiconductor etc., which is transparent to light with an operating wavelength. A waveguide 20 having a larger refractive index than other portions is provided in the substrate 10. The waveguide 20 forms a Y-shaped branch circuit. Each branch path is comprised of an input/output path 21 which faces the side end of the substrate 20 at its end, a tapered path 22 which continues along with the input/output path with its cross section being gradually enlarged, and an enlarged path 23 which continues along with the tapered path 22. The branch path is branched in the enlarged path 23. The waveguide 20 has substantially circular cross section at each of the input/output paths 21A, 21B, and 21C. Their diameters are substantially the same (e.g. 50 μ m) as core diameters of optical fibers connected to the input/output path terminals. In addition, each of the input/output path 21, the tapered path, and the enlarged path 23 has a refractive index gradient such that a refractive index in the cross section is highest at the center, and gradually decreases toward the periphery until it equals to that of the substrate.

At the branch portion of the branch circuit, a band

pass filter 12 is inserted and fixed into a groove formed in the substrate such that the filter traverses the enlarged path 23 and its plane-normal line bisects an angle between both axes of branch paths 23A, 23B. In the branch circuit, light with mixed wavelengths transmitted in optical fiber 11B propagates through the tapered path 22B and the enlarged path 23B, then incidents into the filter 12. Certain wavelength of light passes the filter 12 and propagates each waveguide of the enlarged path 23C, the tapered path 22C and the output path 21C, then incidents into optical fiber 11C. Also, the rest of light reflected by the filter 12 passes through the enlarged path 23A, the tapered path 22A and the output path 21A, and incidents into optical fiber 11A. In the course from the input path 21B to the enlarged path 23B as shown in Fig. 4, beams 13 initially traveling in the input path 21B have various cycle lengths, and forms various reflection angles with respect to the interface.

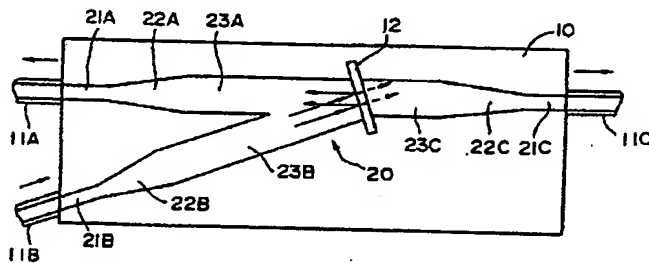
In this regard, beams traveling in the waveguide having the refractive index gradient do not show total reflection at the interface surface, but rather are deflected toward the center axis at the vicinity of the interface surface, traveling in repeatedly meandering ways like sine curves. However, for purposes of illustration,

beams are represented by straight lines in the figures.

Each beam propagating through the input path 21B as set forth above enters the tapered path 22B. An angle between each beam and an optical axis of the waveguide gradually decreases as the beam travels in the tapered path 22B since the interface of the tapered path inclines so as to draw apart gradually from the optical axis of the waveguide towards the traveling direction. Then at the time of incident into the enlarged path 23B, the beams are aligned in substantially parallel with respect to the optical axis of the waveguide. Since component beams of propagating light incident into the filter 12 being aligned in substantially parallel as described above, the spectral response of the filter 12 can be precisely rendered to the entire propagating light, thereby allowing the branch circuit as a whole to realize a high-precision wavelength demultiplexing capability. As set forth above, while a conventional optical demultiplexing circuit has a propagation beam angle of about 8 degrees at the maximum for $NA=0.2$, the present invention can reduce it to a smaller angle of 2 to 3 degrees at the maximum. However, if a ratio of the smaller diameter W_3 to the larger diameter W_4 of the tapered path 22 and a taper angle θ are made too large, an effect of an inclined interface for leveling out the

angles of propagating beams is reduced. Thus, it is desirable to have the value of W_4/W_3 in the range from 1.5 to 8, and to have the taper angle θ in the range from 0.5 to 4 degrees, more preferably, in the range of 1 to 2 degrees.

Fig. 1



⑫ 公開特許公報(A)

昭62-183405

⑮ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和62年(1987)8月11日

G 02 B 6/12

8507-2H

審査請求 有 発明の数 2 (全6頁)

⑭ 発明の名称 テーパ付光導波回路及びその製造方法

⑰ 特 願 昭61-24960

⑱ 出 願 昭61(1986)2月8日

⑲ 発 明 者 奥 田 栄 次 茨城県新治郡桜村梅園2-14-1
⑲ 発 明 者 和 田 弘 茨城県筑波郡谷田部町春日3-3-6
⑲ 出 願 人 工 業 技 術 院 長

明 細 書

1. 発明の名称

テーパ付光導波回路及びその製造方法

2. 特許請求の範囲

1) 透光性基板内に、端部が該基板の側縁に臨む入力導波路と、前記入力路よりも断面の大きな拡大導波路を設けるとともに、前記両導波路を、幅方向および深さ方向に漸進的に拡大するテーパ導波路で接続し、前記各導波路には断面内で中心から周辺に向けて次第に減少する屈折率勾配を形成し、前記拡大導波路部分で伝搬光を所定の機能素子に入射させるようにしたことを特徴とするテーパ付光導波回路。

2) 前記テーパ導波路の最小幅と最大幅の比が

1. 5 ないし 8 倍である特許請求の範囲第 1 項記載のテーパ付光導波回路。

3) 前記拡大導波路が複数本に分岐している特許請求の範囲第 1 項記載のテーパ付光導波回路。

4) 前記機能素子が、拡大導波路の分岐部に介装

した光分割素子である特許請求の範囲第 3 項記載のテーパ付光導波回路。

5) 透光性基板の表面をマスク材で被覆するとともに該マスク材に、基板側縁に至る幅狭の入出力路用開口と、前記開口よりも幅の大きな拡大導波路用開口及び両開口間を接続する幅が次第に拡大するテーパ開口とを含む所定の回路パターンを開口部を設け、前記テーパ開口の最小幅と最大幅との比を 1.0 ないし 4.0 倍とし、次いでマスク材の開口部を通して基板内に該基板材の屈折率を増大させる物質を拡散侵入させることを特徴とするテーパ付光導波回路の製造方法。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は特に光分割回路に好適な光導波回路の改良技術に関する。

〔従来の技術〕

平面光導波路を用いた分波・合波回路としては例えば第 8 図に示す構造のものが知られている。図において 1 は透光性基板、2 は光導波路であり、

導波路2は平面視で略Y字型を成していてその分岐部に、特定波長の光を透過（または反射）し、他の波長光は反射（または透過）させる機能を持つフィルタ3が設けられている。このフィルタ3は分岐部で導波路2を分断するように基板に設けた溝中に嵌装してあり、その法線が二分岐路2A・2Bの成す角を二等分するように傾けてある。上記の分岐・合波回路で、分岐路2Aに波長 λ_1 と λ_2 の混合光を入射させるとフィルタ3で λ_1 の波長光が反射されて分岐路2Bから出射し、 λ_2 の波長光はフィルタ3を透過して分岐路2Cから出射する。平面導波路を用いた分岐・合波回路の例を第9図に示す。同図のものは基板1中に十字型の光導波路2を設け、その中央交差部にハーフミラー4が設けてあり、1つの分岐路2Aまたは2Bを通して入射させたパワー P_0 の伝送光がハーフミラー4において、ミラー4の透過反射特性に応じた比率でパワー P_1 の透過光とパワー P_2 の反射光に分割されてそれぞれ分岐路2C、2Dから出射する。また第8図の回路は合波回路と

して、第9図の回路は合波回路としても機能する。以下特に区分する必要のないときは、分岐・合波回路及び分岐・合波回路を含めて光分割回路とよぶ。

〔発明が解決しようとする問題点〕

従来光分割回路はいずれの方式でも全長にわたり一様な断面形をもつ光導波路を設け、この導波路途中に光分割素子を配置して伝搬光を上記素子に入射させるようにしており、かかる構造では以下に述べるような本質的な問題が発生する。

すなわち、第10図に拡大して示すように、入力導波路2Aから直交分岐する分岐出力路2Bを設け、分岐部に45度の傾斜でハーフミラー4を配置してミラー4による反射光を分岐出力路2Bに入射させ、ミラー4を透過する光を入力路2Aと同軸上の出力路2Cに入れる場合を考えると、入力路2Aに接続された光ファイバから入力路2Aに入射する光束は、導波路2の境界面に対して種々の角度で入射する光線 θ_A 、 θ_B ……を含み、これら光線はそれぞれの角度で界面全反射を繰り返す。

返しつつミラー4に至る。このように導波路内を繰り返し反射で進行する光線の反射角は大きなバラツキをもっているため、ミラー4を分岐部で導波路光軸に対し正確に45度の角度をもって配置したとしても、一部の光線 θ_B はミラー4で反射されずに入力路2Aから直接直交分岐路2Bに入光し、導波路自身の開口数（NA）を超えてしまうため導波路から漏れ出て損失となる。このため従来の分岐回路では伝搬損失が大きいという問題があった。また第11図のようにY型分岐導波路の分岐部に干渉膜フィルタ3を配置し、入出力路2Aを伝搬される混合波長光のうちフィルタ3を透過する特定波長光を入力路と同軸上の出力路2Cに入射させ、フィルタ3で反射される他の波長光を出力路2Bに入射させる分岐回路では、上記と同様にして導波光に種々の反射角の光線成分 θ_A 、 θ_B ……が含まれ、これらはフィルタ3に対し種々の入射角 α で入射することになる。

一方、バンドパスフィルタ3は一般に法線入射光線に対し所期の分光特性を持つよう設計されて

おり、光線入射角 α が一定範囲を超えると分光特性が急激に悪化する。例えば入力路2Aと反射出力路2Bとの成す角を 2β とし $\beta=15^\circ$ とした場合、導波路内の光線角度が $2\sim 3$ 度を超えるとバンドパスフィルタ3の分光特性は悪くなるが、導波路のNAを例えば市販のグレーデッド光ファイバのNAに合せて0.2としたとき、導波路内を伝搬する光線の角度は最大8度まで分布している。このため従来の分岐回路では高精度の波長分割特性が得られないという問題があった。上記問題を解決するために例えばフレネルレンズ、グレーティングレンズ等を組み合わせて光分割フィルタへの入射角バラツキを低減させる方法も提案されているが、構造が複雑、大型化して経済的にも不利である。

以上光分割回路を例にとり説明したが、一般に光導波路の伝搬光を特定機能をもつ機能素子に入射させて該素子で伝搬光に所望の処理を行なう回路において上記と同様の問題がある。

〔問題点を解決するための手段〕

透光性の基板内に、端部が該基板の側縁に臨む入力導波路と、前記入力路よりも断面の大な拡大導波路を設けるとともに、前記両導波路を、幅方向および深さ方向に漸進的に拡大するテーパ導波路で接続し、前記各導波路には断面内で中心から周辺に向けて次第に減少する屈折率勾配を形成し、前記拡大導波路部分で伝搬光を所定の機能素子に入射させるようにした。

〔作用〕

導波路が断面内で屈折率勾配をもっているため、導波路内を進行する光線は略サインカーブ状の蛇行を繰り返して進行し、入力路内では、従来の素子で界面反射角が種々異なる光線を含むのと同様に種々異なる周期長の光線成分を含むが、テーパ導波路において伝搬方向に断面積が次第に拡大するにつれて各光線成分間での周期長差が減少し、つまり界面に対する入射角のバラツキが減少し、拡大導波路に入射した時点では各光線成分は互いにほぼ平行に揃って伝搬する。

したがって拡大導波路に設けられた所定の機能

素子に対して各光線がほぼ同一の入射角で入射し、したがってこの機能素子を予め、拡大導波路の光軸に対して所定角度で設けておけば、素子の設計性能に近い高い効率で反射・透過等の所定の光処理を行なうことができる。

〔実施例〕

以下本発明を図面に示した実施例に基づき詳細に説明する。

第1図ないし第3図において、10は使用波長光に対して透明なガラス、半導体等から成る平板状の基板であり、この基板10に他部分よりも屈折率が大な導波路20が設けてある。導波路20はY形の分岐回路を成しており、各分岐路は基板20の側縁に端部が臨む入出力路21と、この入出力路に続いており断面が次第に拡大するテーパ路22と、このテーパ路22に続く拡大路23とで構成され、上記拡大路23の部分で分岐している。上記の導波路20は、各入出力路21A、21B、21Cの部分で断面形がほぼ円形であり、その径は入出力路端に接続される光ファイバのコア径とは

ほぼ同一（例えば50μm）になっている。また、入出力路21、テーパ路、拡大路23の各部において断面内の屈折率が中心で最大で周辺に向けて次第に減少した後基板と同一になるような屈折率勾配をもっている。

上記分岐回路の分岐部にはバンドパスフィルタ12が拡大路23を横切るように、且つ面法線が分岐路23A、23Bの両軸線を2等分する如く傾斜させて、基板に形成した溝中に底装固定して設けてある。上記の分岐回路で、光ファイバ11Bで伝送される混光波長光はテーパ路22B、拡大路23Bを伝搬した後フィルタ12に入射し、特定波長の光がフィルタ12を透過し、拡大路23C、テーパ路22C、出力路21Cの各導波路を伝搬した後光ファイバ11Cに入射する。またフィルタ12で反射された残りの波長光は拡大路23A、テーパ路22A、出力路21Aを経て光ファイバ11Aに入射する。そして入力路21Bから拡大路23Bに至る過程で第4図に示すように、当初入力路21B内を進行する各光線13は

種々の周期長をもっており、界面に対し種々の反射角を成している。

なお、屈折率勾配をもつ導波路内を進行する光線は境界面での全反射ではなく、界面近くで中心軸側に曲げられて略サインカーブ状の蛇行を繰り返して進行するが、説明の便宜上図では直線で示している。

上記のようにして入力路21B内を伝搬した各光線はテーパ路22Bに入ると、このテーパ路の界面が進行方向に向けて導波路光軸から次第に遠ざかるように傾斜しているので、テーパ路22B中を進行するにつれて各光線の導波路光軸に対して成す角度が次第に小さくなり拡大路23Bに入射した時点では各光線が導波路光軸に対しほぼ平行に揃った状態になる。そして上記のように伝搬光の各成分光線がほぼ平行に揃った状態でフィルタ12に入射するので、このフィルタ12の有する分光特性が伝搬光全体に対して正確に実現され、分岐回路全体として高精度の波長分割性能を得ることができる。上記のようにして、従来の光分割

回路では $NA=0.2$ の場合最大約8度の伝搬光線角度をもっていたものが本発明により最大2~3度の小さい角度まで抑えることができる。

ただしテーパ路22の小径 $W3$ と大径 $W4$ との比及びテーパ角 θ をあまり大きくすると、傾斜界面による進行光線の角度平準化効果が減殺されるので、 $W4/W3$ の値を1.5ないし8の範囲内とし、テーパ角 θ を0.5~4度より好ましくは1~2度の範囲内とするのが望ましい。

次に本発明の光回路を製作する好適な方法を第7図に基づいて説明する。

まずガラス基板30を準備し、この基板30の面にマスク膜31を、例えば金属チタニウムを高周波スパッタリングで厚さ $1\mu\text{m}$ で付着させて形成する。次に通常のフォトリソグラフィ技術を用いてマスク膜31に所定の導波回路パターンで開口部32を設ける。この開口部32には、入出力路用開口32Aと、テーパ路用開口32Bおよび拡大路用開口32Cが含まれる。ここで、テーパ部開口32Bの最小幅 $W1$ と最大幅 $W2$ との比

は、最終的に得られるテーパ導波路の最大径/最小径比を前述の望ましい範囲内に納めるために $W2/W1=10\sim40$ の範囲内に設定することが望ましい。

一例として $W1=5\mu\text{m}$ 、 $W2=150\mu\text{m}$ でテーパ角 $\theta=1^\circ$ とする。次に上記の基板を約550℃に加熱し、マスク膜31側を、基板ガラスの屈折率を増加させるタリウム(Tl)等のイオン33を含む溶融塩に接触させ、マスク側を陽極として基板両面間に数ボルトの直流電圧を印加する。上記の処理によりイオン33がマスク開口32を通して基板内に拡散し、断面が略半円形の高屈折率領域34が形成される。

次に同一面側から、カリウム(K)イオン、ナトリウム(Na)イオン等の屈折率減少に寄与するイオン35を含む溶融塩を接触させて前述と同様の方法で上記イオン35を拡散させると、幅方向(x方向)および深さ方向(y方向)に第2図、第3図に示すような屈折率分布をもった入出力路21、テーパ路22、拡大路23を含む導波路2

0を形成することができる。

例えば上述数値例の場合、得られるテーパ路の最小幅 $W3=80\mu\text{m}$ 、最大幅 $W4=300\mu\text{m}$ で両者比 $W4/W3=5$ であり、深さ方向でも入口、出口寸法比が約3倍のテーパ構造になっている。次に分岐部において拡大路23を分断する溝をダイシングソー等で形成し、この溝中にフィルタ12を挿入し接着等で固定する。上記数値例の分岐回路の場合、入出力路21を伝搬する光線の NA は0.2で拡大路23での NA は約0.08であり、フィルタに入射する光線の最大入射角は約3度である。

上記分岐回路に $\lambda_1=1.2\mu\text{m}$ 、 $\lambda_2=1.3\mu\text{m}$ の混合光を入射させて特性を測定したところ挿入損失1dB、クロストーク35dBと良好な結果が得られた。

第5図に本発明を光分岐・合流回路に適用した例を示す。

本例では拡大導波路23部分をT字形の直交分岐路とし、各分岐路端にそれぞれテーパ導波路

22をを介して入出力導波路21を接続し、分岐部にハーフミラー14を45度の傾斜で配置した構造であり、ハーフミラー14に入射する各光線は導波路光軸に対しほぼ平行に横った状態でミラー14に入射するので、従来のようにミラー反射することなく直接分岐路に入射してそのまま外部洩出する光線成分は全くあるいはほとんど存在なくなり、分岐に伴う伝搬光損失を非常に小さく抑えることができる。

第8図に本発明を4波の分波・合波器に適用した例を示す。

上記以外に例えばフィルタ、ミラーの代りに透過率可変フィルタを挿入することにより光減衰器を構成することもできる。

[発明の効果]

本発明によれば、導波路の伝搬光を光分割フィルタ等の機能素子に入射させる場合に、該素子に入射する伝搬光の各光線成分の角度のバラツキが小さく、導波路光軸に対し小さい角度範囲内に収まっているため、素子の光学特性が光線入射角に

大きく依存するものであっても上記素子の設計性能に近い高精度の回路特性を得ることができる。

また、機能素子が設けられる導波路部分の断面形状を導波路に接続する光ファイバの断面形に合わせる必要がなく充分大きくすることができるので、機能素子を挿入するための加工も精度的に余裕ができるという利点もある。

4. 図面の簡単な説明

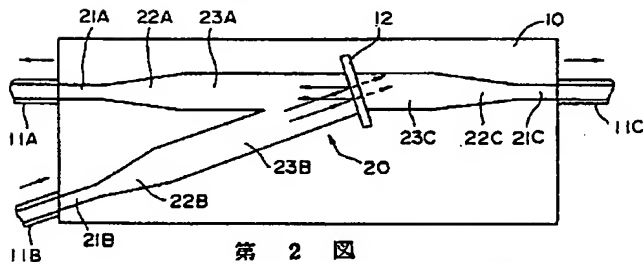
第1図は本発明の一実施例を示す平面図、第2図は同要部平面図、第3図は第2図の横断面図、第4図は本発明の導波路内での光線の伝搬状態を示す模式図、第5図は本発明の他の実施例を示す平面図、第6図は本発明のさらに別の実施例を示す平面図、第7図(イ)～(ニ)は本発明回路の好適な製造方法を段階的に示す断面図(イ、ハ、ニ)及び平面図(ロ)、第8図及び第9図はそれぞれ従来の分波合波回路及び分岐合波回路を示す平面図、第10図は従来の分岐回路での伝搬光の分岐状態を示す要部平面図、第11図は従来の分岐回路でのフィルタへの入射状態を示す要部平面

図である。

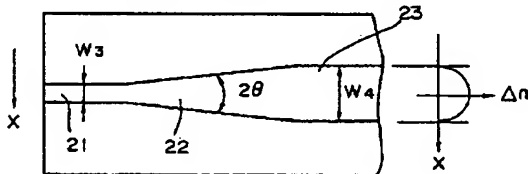
- 10, 30……基板 11A, 11B, 11C
……光ファイバ 12……フィルタ
13……光線 14……ハーフミラー
20……導波路 21, 21A, 21B, 21C
……入出力路 22, 22A, 22B, 22C
……テーパ路 23, 23A, 23B, 23C
……拡大路 31……マスク膜
32……開口 33……高屈折率イオン
34……高屈折率部 35……低屈折率イオン

特許出願人 工業技術院長 等々力 達

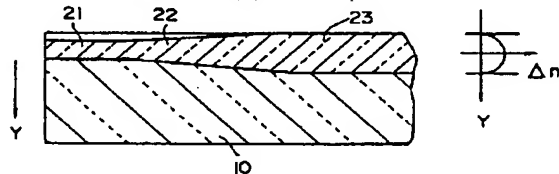
第 1 図



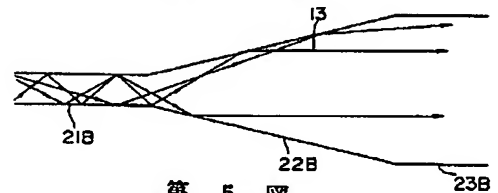
第 2 図



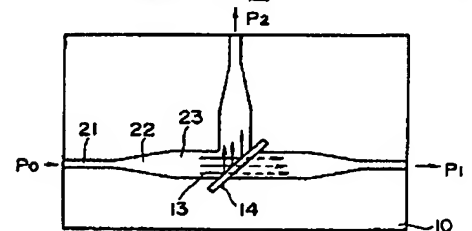
第 3 図



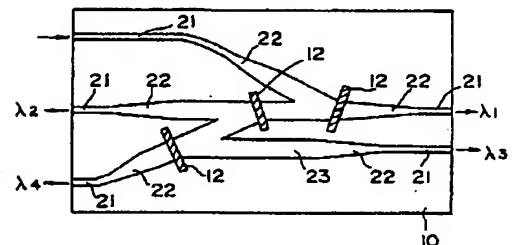
第 4 図



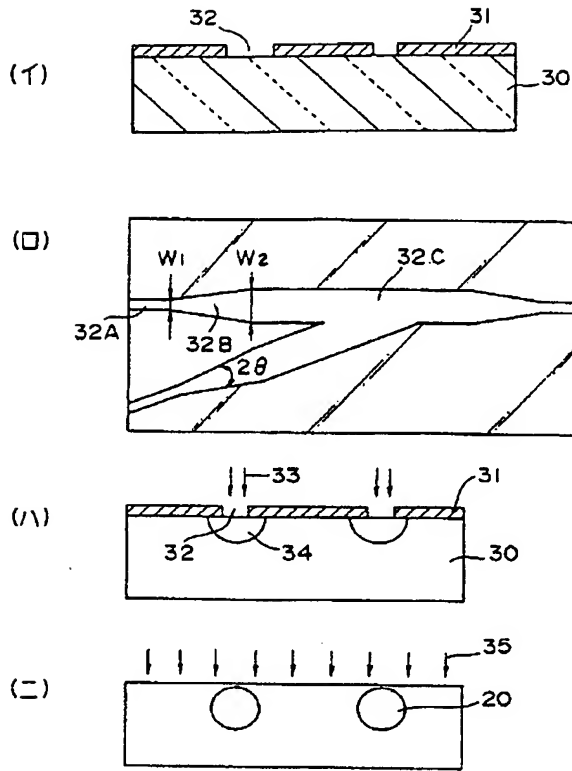
第 5 図



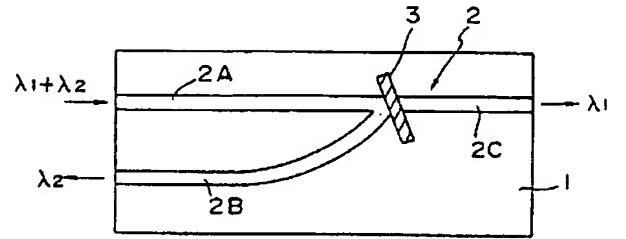
第 6 図



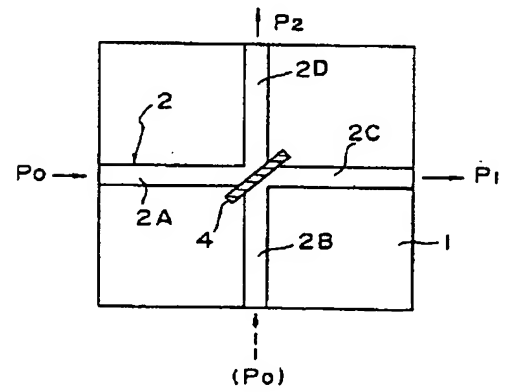
第 7 図



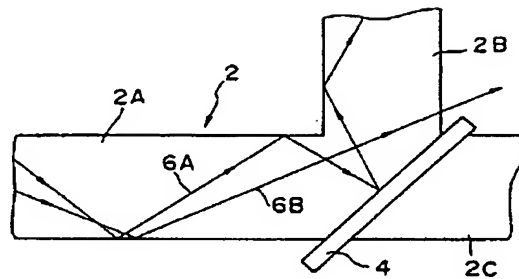
第 8 図



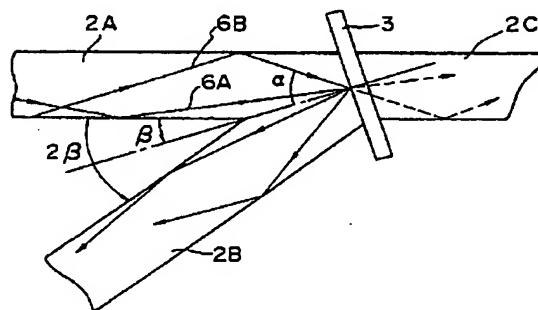
第 9 図



第 10 図



第 11 図



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.